

ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS (END) APLICADOS À ARGAMASSA COM ADIÇÃO DE FIBRA DE SISAL

Antonio Ludovico Beraldo.

Professor Associado, Departamento de Construções Rurais, Faculdade de Engenharia Agrícola, Unicamp. beraldo@agr.unicamp.br

Flávia de Freitas Vieira.

Técnica em Edificações, Laboratório de Ensaios de Materiais e Estruturas, Feagri, Unicamp. flavia@agr.unicamp.br

Resumo. Este trabalho avaliou a aplicação do método do ultra-som em argamassa com adição de fibras de sisal submetidas a diferentes tratamentos, buscando-se um melhor conhecimento da cinética da reação de hidratação do aglomerante. Os tratamentos foram: lavagem em água fria; lavagem em água quente; imersão em solução a 5% de cal; imersão em solução a 5% de soda cáustica. Foram feitos três corpos-de-prova cilíndricos (5 cm x 10 cm) para cada tratamento. Foram confeccionados corpos-de-prova utilizando a fibra de sisal em sua condição natural e corpos-de-prova sem adição de fibra (testemunha). Adotou-se o traço de 1:1,5 (cimento : areia) e relação a/c de 0,40. Adicionou-se as fibras na argamassa em três porcentagens: 1,80%, 3,60% e 10,80% em relação à massa de cimento. Durante 28 dias os corpos-de-prova foram submetidos a medições de velocidade ultra-sônica com o auxílio do equipamento Ultrasonic Tester BP-7 (Steinkamp). A velocidade de propagação da onda ultra-sônica tendeu a estabilizar-se em torno de 10 dias. Observou-se que, para as adições de 1,80% e 3,60% o END não permitiu detectar diferença significativa entre os tratamentos aplicados às fibras. Apenas nas idades iniciais observou-se o efeito inibitório das fibras naturais, fato esse denotado pela menor velocidade de propagação obtida.

Palavras Chaves: argamassa; fibra de sisal; ensaios de ultra-som.

NON DESTRUCTIVE EVALUATING TEST (NDE) APPLIED TO MORTAR MODIFIED BY SISAL FIBER ADDITION

Abstract. In this work it was studied the ultrasonic method application to a mortar with sisal fiber addition submitted to different treatments, searching a better knowledge of binder kinetics hydration reaction. The treatments were: washing in cold water; washing in hot water; immersion in calcium and sodium hydroxide solutions (5%). Three cylindrical (5 cm x 10 cm) samples was produced for each treatment. Mortar reference and natural sisal fibers were also produced. It was utilized the ratio 1:1.5 (cement/sand) and 0.40 (water/cement). Three sisal fibers contents were employed: 1.80, 3.60 and 10.80% (based on cement weight). During 28 days samples were submitted to NDE by means ultrasonic wave speed in an Ultrasonic Tester BP-7 (Steinkamp) apparatus. Ultrasonic speed wave remained constant after 10 days. NDE utilization was not accurate to detect the difference of 1.80% and 3.60% sisal fibers addition for all treatments. Only for the initial setting period it was possible verify inhibitory effect of natural sisal fibers, showed by a smaller ultrasonic speed wave.

Keywords: mortar, sisal fibers, ultrasonic test

1. Introdução

Os ensaios não-destrutivos (END) são ensaios realizados em materiais para verificar a existência ou não de descontinuidades ou defeitos internos no material, sem alterar suas características físicas, químicas, mecânicas ou dimensionais e sem interferir em seu uso posterior. Estes ensaios são recentes na construção civil e constituem uma das principais ferramentas do controle da qualidade de materiais e produtos (PUCCINI, 2002; site ABENDE – capturado em março de 2003).

Modificações nas características de diversos materiais à base de cimento são passíveis de serem obtidas por meio de ensaios não destrutivos. Dentre eles destaca-se o uso da velocidade de propagação da onda ultra-sônica, a partir da qual pode-se efetuar o acompanhamento temporal do estágio de endurecimento do material (BERALDO, 1999). A análise da evolução da velocidade de propagação ao longo do tempo permite detectar efeitos deletérios causados pela presença de matéria-prima incompatível com o cimento, ou de adições que modifiquem acentuadamente a pega e o endurecimento do aglomerante. Na maioria dos casos, a velocidade de propagação apresenta boa correlação com a resistência mecânica do material. A magnitude da velocidade de propagação para materiais à base de cimento depende de uma série de fatores, a saber: tipo de cimento, razão entre os constituintes, idade do material, forma de compactação, umidade, geometria do corpo-de-prova, além de características relacionadas ao equipamento de medição e à sua interface com a material a ser medido. Em determinadas situações não se observa sinal acústico por não haver o surgimento de uma estrutura mínima de ligação entre os constituintes.

O aparelho de ultra som detecta descontinuidades internas em materiais, baseando-se no fenômeno de reflexão de ondas acústicas quando as mesmas encontram obstáculos à sua propagação, dentro do material. Um pulso ultra-sônico é gerado e transmitido por meio de um transdutor especial, encostado ou acoplado ao material. Os pulsos ultra-sônicos refletidos por uma descontinuidade, ou pela superfície oposta da peça, são captados pelo transdutor, convertidos em sinais eletrônicos e mostrados na tela LCD ou em um tubo de raios catódicos (TRC) do aparelho. Os ultra-sons são ondas acústicas com frequências acima do limite audível. Normalmente, as frequências ultra-sônicas situam-se na faixa de 0,5 a 25 MHz. Geralmente as dimensões reais de um defeito interno podem ser estimadas com uma razoável

precisão, fornecendo meios para que a peça ou componente em questão possa ser aceito, ou rejeitado, baseando-se em critérios de aceitação da certa norma aplicável. Utiliza-se ultra-som também para medir espessura e determinar corrosão com extrema facilidade e precisão. Segundo BERALDO (1997) há várias formas de avaliar a compatibilidade química entre a biomassa vegetal e o cimento Portland. Dentre elas pode-se citar: o teste da curva de hidratação e o comportamento do compósito quando submetido a ensaios destrutivos ou não destrutivos (END) (site ABENDE – capturado em março de 2003).

Segundo BALLARIN e GONÇALVES (2001), citados por PUCCINI (2002), o método usual do ultra-som considera como parâmetro quase que exclusivo de análise a velocidade de propagação da onda de tensão induzida e que, quando o método baseia-se numa completa observação e análise dos parâmetros da forma da onda aplicada à madeira e compósitos, a técnica recebe a denominação característica de emissão acusto-ultra-sônica, internacionalmente referida como AU – *acousto-ultrasonic emission*. Nesse caso, ao invés de privilegiar a definição precisa e clara de um caminho de propagação da onda — indicativo maior de falhas no material — a técnica da emissão acusto-ultra-sônica requer que o sinal recebido seja o resultado das múltiplas interações com a microestrutura do material.

Países em desenvolvimento vêm utilizando há muito tempo fibras vegetais para modificar o comportamento de matrizes cimentícias, visando o seu aproveitamento na produção de chapas e placas, principalmente para uso como material de cobertura ou na construção de moradias de baixo custo (TEZUKA, 1989). O autor relatou trabalhos desenvolvidos na África nos quais se utilizavam fibras de sisal para a fabricação de tubos e tanques de armazenamento, dentre outros.

No Brasil existe uma grande oferta de suprimento de fibras naturais. O sisal e a fibra de coco apresentam os maiores potenciais de utilização, quer seja na obtenção direta dessas matérias-primas, ou no aproveitamento de resíduos gerados durante um processamento industrial.

Sob o ponto de vista anatômico as fibras de sisal se inserem na categoria “estruturais” pois conseguem fornecer sustentação e rigidez à planta. Constituem-se de um agrupamento de numerosas e pequenas células individualizadas (fibrilas), conectadas entre si devido à ação da pectina. As fibras distribuem-se ao longo da direção longitudinal ao comprimento da folha. Seu comprimento é função da posição ocupada na folha ou do método utilizado para a sua extração (MEDINA, 1959). O autor apresentou a composição química do sisal: celulose (65,8%), hemiceluloses (12,0%), pectina (0,8%), lignina (9,9%), substâncias solúveis em água (1,2%) e substâncias graxas e ceras (0,3%).

Este trabalho teve o objetivo de avaliar a aplicação do método do ultra-som em argamassa com adição de fibras de sisal submetidas a diferentes tratamentos, buscando-se um melhor conhecimento da cinética da reação de hidratação do aglomerante.

2. Materiais e Métodos

2.1. Caracterização das fibras de sisal

O sisal, Figura (1), foi fornecido pela empresa Lwarcel, situada em Lençóis Paulista - SP. O material original foi fornecido em feixes com cerca de 1 m de comprimento. A seguir, procedeu-se ao corte desse material com o auxílio de uma lâmina metálica. Selecionou-se fibras de comprimento da ordem de 1,5 cm, devido às limitações no tamanho das fôrmas a serem utilizadas na fabricação dos corpos-de-prova.



Figura 1. Fibra de sisal

2.2. Preparação dos compósitos

Foram produzidos compósitos à base de argamassa de cimento Portland (CPII-E32 – NBR 11578) e areia fina (granulometria determinada de acordo com a NBR 7217), obtendo-se para esse agregado mineral módulo de finura igual a 1,71 e dimensão máxima característica de 2,4 mm (de acordo com a NBR 7211).

As fibras de sisal foram empregadas na condição natural e, por apresentarem efeito inibitório à pega do cimento, as fibras foram submetidas a diferentes tratamentos: lavagem em água fria (24 h); lavagem em água quente (2 h a 80 °C); imersão em solução a 5% de cal; imersão em solução a 5% de soda cáustica.

Os corpos-de-prova foram moldados segundo os seguintes procedimentos:

- relação cimento:areia – 1:1,5;
- adição das fibras: 1,8%, 3,6% e 10,8% em relação à massa de cimento;
- fator água/cimento: 0,40 para as duas primeiras adições (1,8% e 3,6%) e de 0,48, para a última (10,8%).
- moldagem de corpos-de-prova cilíndricos (5 cm de diâmetro e 10 cm de altura, de acordo com a NBR 7215) – três repetições para cada tratamento e adição das fibras. Também foram confeccionados corpos-de-prova sem adição de fibra (testemunha), com relação água/cimento de 0,40.

2.3. Cura

Os corpos-de-prova foram desmoldados 24 h após a fabricação. A seguir permaneceram durante 7 dias em câmara úmida, seguido de 21 dias de colocação ao ar livre.

2.4. Ensaio não destrutivo – END

Efetuiu-se o acompanhamento da etapa de endurecimento da mistura por meio da medição do tempo de propagação (em μs) da onda ultra-sônica através dos corpos-de-prova. Além disso, buscou-se obter uma correlação entre a resistência mecânica e a velocidade de propagação da onda ultra-sônica. Os corpos-de-prova foram submetidos a medições do tempo de propagação da onda durante 28 dias. Para isso, foi utilizado o aparelho Ultrasonic Tester, modelo BP7 da STEINKAMP, com transdutores de seção exponencial de 45 kHz de frequência de ressonância, Figura (2).



Figura 2. Ensaio: velocidade de propagação da onda ultra-sônica nos corpos-de-prova - Ultrasonic Tester, modelo BP7 da STEINKAMP

Foram obtidos dois gráficos para cada tipo de tratamento efetuado, sendo um deles o gráfico auxiliar, necessário para a obtenção da curva do comportamento teórico da propagação do sinal (Figura 1), e o outro comparando as curvas obtidas experimentalmente com o modelo teórico (BERALDO, 1999). O gráfico auxiliar foi obtido por meio de:

$$v = v_{\max} (1 - \exp(A-Bt)) \quad (1)$$

sendo: v = velocidade teórica de propagação da onda através do corpo-de-prova;

v_{\max} = velocidade máxima de propagação obtida experimentalmente. Adotou-se a idade de 7 dias como limite.

Fazendo

$$\left(\frac{v - v_{\max}}{v_{\max}}\right) = -\exp(A - Bt) \quad (2)$$

Tem-se,

$$\ln\left(\frac{v_{\max} - v}{v_{\max}}\right) = A - Bt \quad (3)$$

Os coeficientes A e B , determinados por regressão, permitiram obter a equação que rege o comportamento da velocidade de propagação da onda ultra-sônica através dos corpos-de-prova originários dos diferentes tratamentos realizados. O coeficiente A pode ser considerado como um certo valor de “retardo” podendo, em alguns casos, assumir um valor nulo. O coeficiente B , por sua vez, pode ser associado a um tipo de “aceleração de endurecimento” da mistura, ou seja, em misturas mais adequadas sob o ponto de vista da compatibilidade química, a velocidade máxima geralmente é obtida em um menor intervalo de tempo após a fabricação.

2.5. Ensaio de compressão axial

Aos 28 dias, os corpos-de-prova foram capeados (mistura de enxofre e caulim) e ensaiados à compressão simples, segundo as recomendações da norma NBR 7215. Os ensaios foram realizados em prensa de ensaio universal, marca Dinatest.

3. Resultados e Discussão

3.1. Ensaio não destrutivo

Na Tab. (1) apresenta-se os coeficientes A e B , e o coeficiente de determinação (R^2) obtidos para os diferentes tratamentos realizados e para as três dosagens utilizadas das fibras de sisal. Os coeficientes foram obtidos por meio do gráfico auxiliar que é utilizado para a análise do comportamento teórico do compósito analisado, como mostra a Figura (3).

Tabela 1- Coeficientes obtidos para os diferentes tratamentos

| Dosagem | 1,80% | | | 3,60% | | | 10,80% | | |
|-------------|-------|-------|----------------|-------|-------|----------------|----------------|-------|----------------|
| | A | B | R ² | A | B | R ² | A | B | R ² |
| Natural | -0,84 | -0,41 | 0,89 | -0,1 | -0,62 | 0,93 | 0,86 | -0,97 | 0,95 |
| Água Fria | -0,98 | -0,5 | 0,94 | -0,44 | -0,55 | 0,81 | -0,76 | -0,68 | 0,89 |
| Água Quente | -0,72 | -0,61 | 0,93 | -1,01 | -0,37 | 0,96 | -0,55 | -76 | 0,92 |
| Cal | -1,44 | -0,65 | 0,79 | -1,06 | -0,38 | 0,97 | -0,7 | -0,59 | 0,97 |
| Soda | -1,03 | -0,63 | 0,94 | -1,04 | -0,43 | 0,97 | -1,04 | -0,86 | 0,92 |
| | A | | | B | | | R ² | | |
| Testemunha | -0,98 | | | -0,46 | | | 0,97 | | |

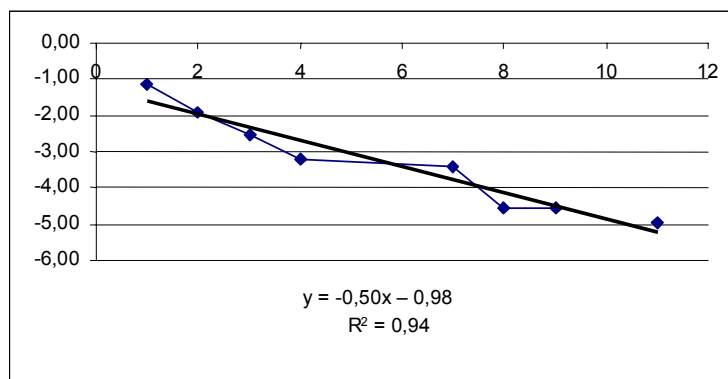


Figura 3. Gráfico auxiliar – compósito com adição de 1,80% de fibra de sisal tratada em água fria.

Na Figura (4) apresenta-se a evolução da velocidade de propagação da onda ultra-sônica para corpos-de-prova fabricados com as fibras de sisal em sua forma natural (sem tratamento). Para as dosagens de 1,80% e 3,60% ocorreu uma ligeira modificação na magnitude da velocidade de propagação da onda ultra-sônica. Por outro lado pode-se observar o efeito desfavorável da dosagem 10,80%, pois a velocidade diminuiu drasticamente; inclusive nos dois primeiros dias não foi possível detectar nenhum sinal acústico, denotando a inexistência de uma estrutura mínima que permitisse a propagação da onda ultra-sônica.

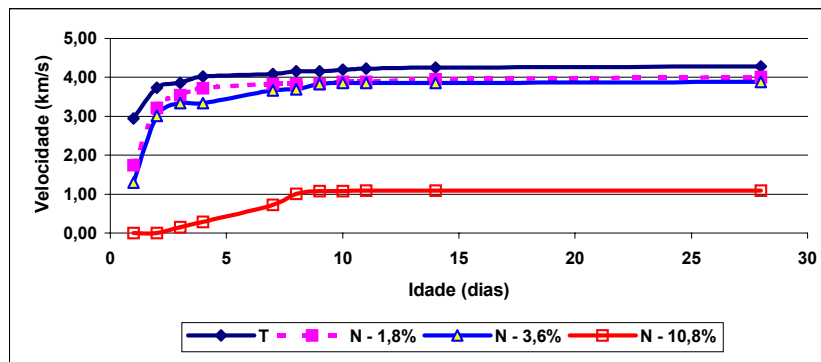


Figura 4 - Efeito da adição de fibras naturais de sisal na velocidade de propagação.

Na Figura (5) apresenta-se as curvas referentes aos compósitos fabricados com fibras tratadas em água fria. Observou-se uma pequena diminuição nas velocidades de propagação relativas aos compósitos fabricados com as menores dosagens (1,80% e 3,60%). Para a dosagem de 10,80% pode-se notar que substâncias inibitórias à pega do cimento foram extraídas, pois a velocidade de propagação da onda ultra-sônica triplicou quando comparada com aquela apresentada na figura precedente.

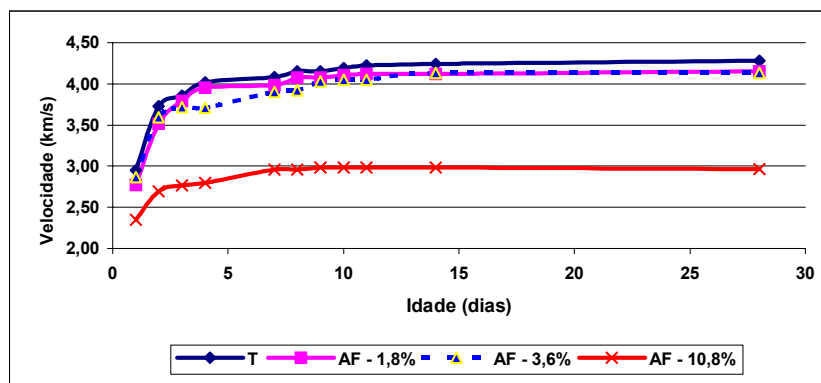


Figura 5 - Efeito da adição de fibras de sisal tratadas em água fria na velocidade de propagação

Na Figura (6) pode-se notar que o tratamento das fibras de sisal em água quente também melhorou o comportamento do compósito. Para a dosagem de 1,80% a curva da velocidade de propagação praticamente coincidiu com a curva da testemunha. Mesmo para a dosagem de 10,80% a diminuição na velocidade foi de apenas 25%, valor este significativamente diferente daquele apresentado na Figura 1.

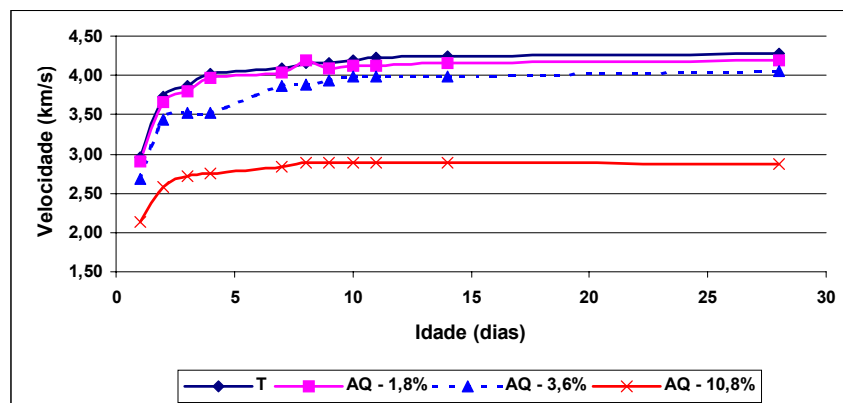


Figura 6 - Efeito da adição de fibras de sisal tratadas em água quente na velocidade de propagação.

Soluções alcalinas são mais eficientes para extrair substâncias solúveis presentes na biomassa vegetal. Na Figura (7) pode-se observar que para as dosagens de 1,80% e 3,60% as velocidades de propagação não diferiram

significativamente daquela correspondente à testemunha. Por outro lado, para a dosagem de 10,80% a velocidade de propagação, quando comparada com os tratamentos precedentes diminuiu cerca de 15%.

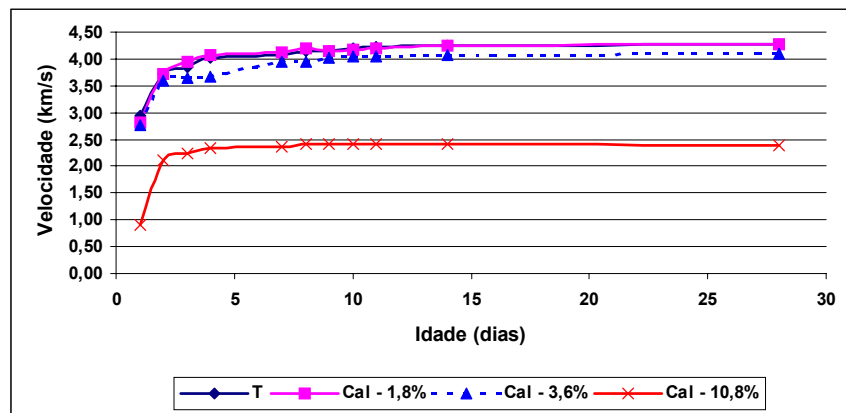


Figura 7 - Efeito da adição de fibras de sisal tratadas em solução de cal (5%) na velocidade de propagação

Na Figura (8) pode-se verificar que o efeito do uso de tratamentos muito agressivos à biomassa vegetal podem produzir efeitos adversos, pois, provavelmente, ocorra maior degradação da matéria-prima de origem vegetal. Para as dosagens de 1,80% e 3,60% não foram observados efeitos favoráveis; apenas para a dosagem de 10,80% ocorreu um leve aumento na velocidade quando comparada com aquela referente ao tratamento precedente.

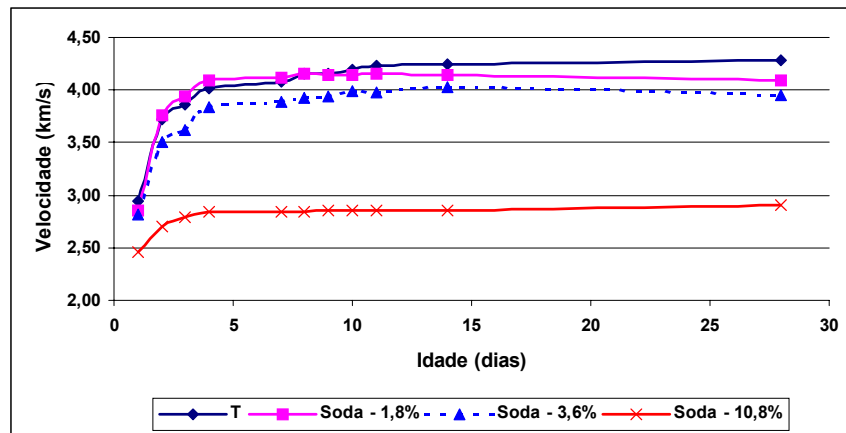


Figura 8 - Efeito da adição de fibras de sisal tratadas em solução de soda cáustica na velocidade de propagação

3.2. Ensaio de compressão simples

Na Figura (9) observa-se o resultado do ensaio de compressão simples para os corpos-de-prova originários dos diferentes tratamentos aos quais as fibras foram submetidas, e com as três dosagens empregadas.

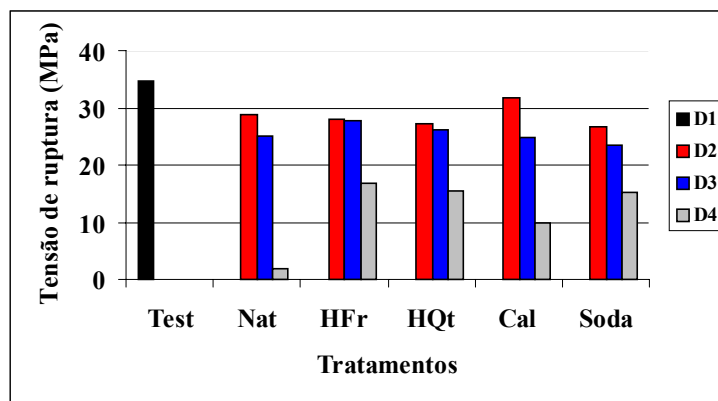


Figura 9 - Efeito dos tratamentos e das dosagens na resistência à compressão da argamassa de areia e cimento modificada pela adição de fibras de sisal.

Legenda: **D1** = Testemunha (argamassa de cimento e areia sem o sisal);

D2 = Dosagem de 1,80% em relação à massa de cimento;

D3 = Dosagem de 3,60% em relação à massa de cimento;

D4 = Dosagem de 10,80% em relação à massa de cimento.

Nat = sisal natural

HFr = tratado em água fria durante 24 h

HQt = tratado em água quente durante 2 h **Cal** = tratado em solução de cal (5%) – 24 h

Soda = tratado em solução de soda (5%) – 24 h

Efeito da dosagem- valores muito elevados (10,80%) provocaram diminuição acentuada na resistência do material. Não se observou diferença estatística entre o uso das dosagens 1,80% e 3,60%;

Efeito do tratamento- o sisal natural tornou-se problemático ao cimento quando foi usado em dosagens mais elevadas (10,80%). O tratamento em água fria mostrou-se adequado, além de não necessitar de consumo de energia (caso do uso da água quente) e nem gerar resíduos que mereceriam o uso de tratamentos para a sua neutralização (caso das soluções de cal e soda).

3.3. Correlação entre a resistência à compressão e a velocidade de propagação da onda ultra-sônica

Na Figura (10a) apresenta-se a correlação entre a velocidade de propagação da onda ultra-sônica através de corpos-de-prova à base de argamassa de cimento, areia e fibras naturais de sisal (para as três dosagens). Na Figura (10b) os resultados apresentados referem-se às mesmas dosagens, porém, não tendo sido separados os tratamentos aplicados às fibras de sisal (lavadas em água fria, em água quente e em soluções de cal e soda cáustica). Nota-se a ocorrência de duas nuvens de pontos, correspondendo à dosagem de 10,80% e às dosagens de 1,80% e 3,60%, para as quais não se observou diferenças significativas.

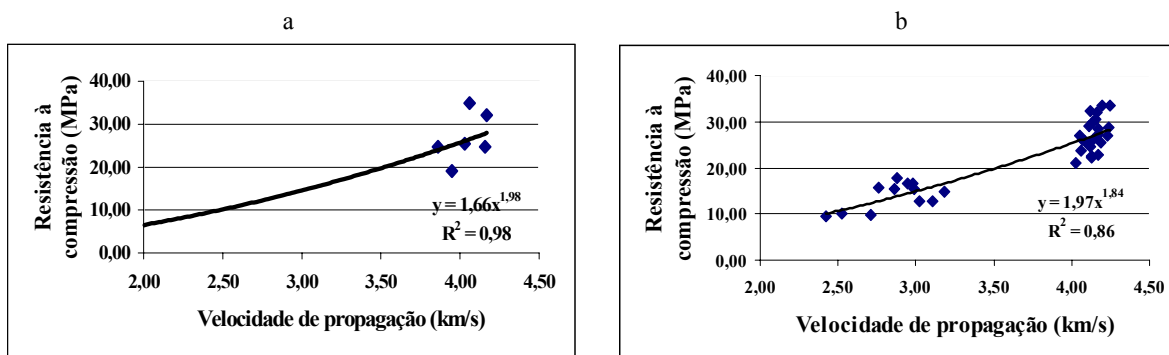


Figura 10. Correlação entre a velocidade de propagação da onda e a resistência à compressão. a) Fibras naturais b) Fibras tratadas.

4. Conclusões

Fibras naturais de sisal mostraram-se inibitórias à pega do cimento, principalmente quando foram empregadas na dosagem de 10,80%, com a qual a resistência à compressão do compósito reduziu-se acentuadamente.

A velocidade de propagação da onda ultra-sônica através dos corpos-de-prova estabilizou-se após 10 dias da fabricação dos mesmos. Sua magnitude pôde ser correlacionada à resistência à compressão do compósito, confirmando a inadequação do uso da dosagem de 10,80% das fibras de sisal na confecção da argamassa.

5. Referências Bibliográficas

ABENDE, www.abende.org.br, março 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, ABNT. Rio de Janeiro

NBR 7211 Agregados para Concreto, especificação, 1983. 5p.

NBR 7215 Cimento Portland: Determinação da resistência à compressão, método de ensaio, 1996. 8p.

NBR 7217 Agregados: Determinação da composição granulométrica, método de ensaio, 1987, 3p.

NBR 11578 Cimento Portland composto, especificação, 1991. 8p

BERALDO, A. L. “Compósitos Biomassa vegetal-cimento”. In: Simpósio sobre Materiais Não Convencionais para Construções Rurais, Campina Grande, UFPB, Editores Romildo Dias Toledo Filho, José Wallace Barbosa do Nascimento, Khosrow Ghavami. p. 01-48, 1997.

BERALDO A. L. Ultrasonic speed wave: cure type influence on wood-cement composite compression strength. In: Proceedings of the NDTISS'99 – International Symposium on Non Destructive Testing Contribution to the Infrastructure Safety Systems in the 21st Century, UFSM, Torres, RS, p. 86-90, 1999.

MEDINA J. C. Plantas fibrosas da flora mundial. Seção de Plantas Fibrosas, IAC – Campinas. p. 289-314, 1959.

PUCCINI C. E. Avaliação de aspectos de qualidade da madeira utilizando ultra-som. Tese de Doutorado. Faculdade de Engenharia Agrícola, UNICAMP, 127p. 2002.

TEZUKA Y. Concreto armado com fibras. ABCP, São Paulo. 20p., 1989.